

# Las Telas de Araña, una Metodología Alternativa en la Enseñanza de la Elasticidad.

*Aguilera Sammaritano, Juan.*

Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan (Argentina). [aguajuan@gmail.com](mailto:aguajuan@gmail.com)

## 1. Resumen

La tela de araña es una estructura sorprendente, sus propiedades físicas y químicas han despertado el interés de muchos científicos alrededor del mundo. En este artículo se propone una metodología alternativa, económica y relativamente simple de aplicar para estimar propiedades elásticas de las telas de arañas. Impulsando un método de enseñanza de la Física con aplicación biológica que permita a los alumnos comprender los conceptos de elasticidad de manera experimental y tangible.

**Palabras clave:** Arañas; Tela; Elasticidad; Enseñanza Física.

## The Spider Webs, an Alternative Strategy to Teach Elasticity.

### 1.1. Abstract

The spider web is a surprising structure, its physical and chemical properties have woken up the interest of many scientists around

the world. In this article is proposed an alternative, economic and relatively simple methodology to estimate elastic properties of the spider webs. Stimulating a method of education of the Physics with biological application that allows pupils to understand the concepts of elasticity of an experimental and tangible way.

**Key words:** Spiders; Webs; Elasticity; Physical Education.

## 2. Introducción

Actualmente, numerosos grupos de científicos están realizando estudios para dilucidar las aplicaciones de las telas, las cuales son muy variadas. Diversas aplicaciones de este nuevo material surgen en la mente de los investigadores, tales como ropa y zapatos a prueba de agua, cables y cuerdas, cinturones de seguridad y paracaídas más resistentes, revestimientos anticorrosivos, parachoques para automóviles, tendones y ligamentos artificiales, chalecos a prueba de balas, etc. (Montenegro, 2003; Cussó *et al.*, 2004).

Alrededor del mundo son numerosas las investigaciones sobre las propiedades químicas y físicas de las telas, sin embargo en nuestro país no lo son. Y en nuestra provincia aún no se registran antecedentes de estudios sobre las propiedades físico-mecánicas de las telas, por lo que sería de gran importancia integrarse a estas redes de investigación científica y tecnológica que involucran tanto a la física-mecánica como a la biología. Y a la vez generar un acercamiento de los estudiantes de biología y carreras afines a este tipo de situaciones para fomentar el interés de los mismos en el estudio de las Ciencias Básicas y sus posibles aplicaciones, tratando así de evitar el alto grado de deserción observado en los primeros años de la Universidad.

### 3. Referente teórico

Las telas fabricadas por los arácnidos son unas de las estructuras más sorprendentes del Reino Animal. La seda de captura de las arañas es un material natural que supera casi cualquier material sintético en su combinación de fuerza y elasticidad (Solomon *et al.*, 2008). Sin embargo, la estructura de este notable material es, todavía, en parte desconocida, ya que la proteína de la tela de las arañas no ha sido aún completamente cristalizada (Becker *et al.*, 2003). A través de millones de años de evolución, las arañas se han especializado en el uso de las telas al punto de que algunas especies son totalmente dependientes de estas estructuras para su supervivencia (Stauffer *et al.*, 1994). Las arañas tejedoras de telas orbiculares son un ejemplo clave. Éstas elaboran telas altamente complejas y con diferentes funciones para cubrir sus ootecas, para detectar (McConney *et al.*, 2007), atrapar, envolver y almacenar a sus presas e hilos para transportarse (Hickman *et al.*, 2006; Solomon *et al.*, 2008). Para atrapar insectos voladores, muchas arañas han desarrollado la habilidad de construir trampas aéreas; las telas orbiculares son una clase de estas trampas. El suceso de captura en estas intrincadas trampas depende, en primer término, de la habilidad que posean para interceptar insectos y absorber la fuerza de su impacto (elasticidad) y en segundo lugar de la capacidad para retenerlos (adhesividad) hasta que la araña pueda doblarlos y alimentarse de estos (Opell, 1997). Ya que la selección natural favorece las estructuras eficientes (Solomon *et al.*, 2008), las telas deberían cubrir la mayor superficie posible con la mínima cantidad de material, lo cual es logrado a través de telas planas (Opell, 1999). En algunos habitats, por ejemplo sobre la superficie del agua, los insectos vuelan primero hacia arriba y abajo, consecuentemente algunas

especies como *Uloborus sp.* construyen telas horizontales (Opell, 1997), que en estos casos son mucho más efectivas en la captura de insectos voladores que las telas verticales.

Las arañas producen una serie de diferentes fibras, en las cuales la secuencia de aminoácidos de las proteínas que las componen es controlada con precisión para proporcionar las propiedades mecánicas específicas que definen su función biológica (Montenegro, 2003). La materia prima inicial que las arañas usan para tejer la tela es una solución líquido-cristalina que contiene proteínas, y que fluye fácilmente por los tubos presentes en el abdomen de la araña. Dicha solución contiene 50% de proteínas, concentraciones que normalmente causan una altísima viscosidad, haciendo que el proceso de tejer la tela en el laboratorio no sea viable. Sin embargo, las arañas pueden resolver este problema manteniendo las proteínas en una conformación complicada mientras están tejiendo, y sólo después de eso las proteínas dejan esa conformación, estirándose y arreglándose para producir la elasticidad final del hilo (Montenegro, 2003). Éstos constan de una proteína básica, la fibroína, de peso molecular entre los 200.000 y 300.000 gr/mol. Esta proteína posee una orientación regular a escala molecular, y sus componentes mayoritarios son los aminoácidos glicocola, alanina y serina. Está compuesta de un material extremadamente fuerte, flexible y elástico (Solomon *et al.*, 2008; Carey, 2006). Las fibroínas se mantienen unidas mediante la actividad de otra proteína llamada sericina, que hasta el momento no desempeña ningún otro papel estructural (Cussó *et al.*, 2004).

La teoría de la elasticidad estudia la mecánica de los cuerpos sólidos, considerados como medios continuos (Landau y Lifshitz, 1969). Bajo la acción de fuerzas aplicadas, los sólidos se deforman, o sea, cambian de forma y volumen en mayor o menor

grado. La posición de cada punto a lo largo del cuerpo suele sufrir un desplazamiento  $x$ , que está en función de la fuerza aplicada, de las propiedades físicas y químicas particulares de cada cuerpo y las condiciones del ambiente, tales como humedad y temperatura. O sea que, cuando un cuerpo se deforma, varían las distancias entre sus puntos. Cada una de estas deformaciones es una dilatación (o contracción) simple en la dirección correspondiente. Por convención, si el cuerpo se comprime el signo de su módulo es negativo y si se dilata (tracción) es positivo (Landau y Lifshitz, 1969; Cromer, 2001; Cussó et al., 2004).

Muchas fibras sintéticas, tales como el Kevlar y las fibras de polietileno de muy alta densidad, llegan a módulos de elasticidad y tensiones de estiramiento elevadísimos, debido a cristalinidades muy altas. En virtud de esta propiedad las fibras tienden a ser quebradizas y por lo tanto no muy resistentes cuando están bajo compresión. Sin embargo el hilo de la telaraña, a pesar de no llegar a módulos de Young extremadamente altos como algunas fibras sintéticas, posee un gran alargamiento de ruptura y es más fuerte bajo compresión (Montenegro, 2003; Cussó et al., 2004; Hickman et al., 2006).

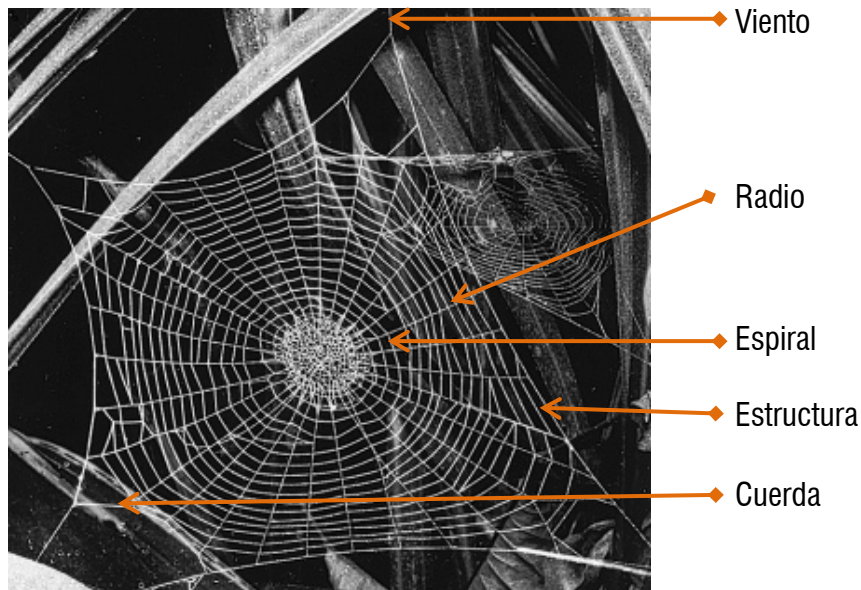
Entre los diferentes biomateriales las telas presentan módulos de Young de magnitudes de  $5 \times 10^9 \text{ N m}^{-2}$  (tabla 1). Los esfuerzos de ruptura por tracción, cuando actúan fuerzas iguales y opuestas que tienden a estirla, pueden ser tres veces superiores a los del acero, que es uno de los materiales artificiales con mayor índice de esfuerzo de ruptura (Cussó et al., 2004).

Los datos anteriores deben tomarse a modo de título indicativo y de comparación, ya que existe una gran dispersión en los datos de las propiedades mecánicas de los materiales biológicos. Ello

se debe a la dificultad experimental derivada de las características de las muestras, como por ejemplo, su tamaño y grado de humedad, así como al hecho de que los valores pueden cambiar apreciablemente de un individuo a otro. No obstante, en la tabla anterior se aprecian las características más distintivas de algunos biomateriales. Dentro de éstos, las telas realizadas por tejedoras orbiculares comparten muchas características en su arquitectura, como por ejemplo hebras espirales adhesivas colocadas radialmente las cuales convergen en un punto central (Fig. 1).

Material	E (N m <sup>-2</sup> )	$\sigma_{rot}$ (N m <sup>-2</sup> )	Extensibilidad
Seda	2-6 x 10 <sup>9</sup>	500 x 10 <sup>6</sup>	25%
Cartílago	5 x 10 <sup>6</sup>	1 x 10 <sup>6</sup>	10%
Tendón	1 x 10 <sup>9</sup>	50 x 10 <sup>6</sup>	8%
Cáñamo	50 x 10 <sup>9</sup>	900 x 10 <sup>6</sup>	2%
Concha	40-100 x 10 <sup>9</sup>	100 x 10 <sup>6</sup>	

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas de algunos biomateriales. Tomado de Cussó, 2004.



**Fig. 1.** Tela de tipo orbicular de *Waitkera waitakerensis* (Uloboridae). Cada hilo representado en la figura tiene características distintas. Los vientos y la estructura son más rígidos que el resto. Los radios y espirales son muy deformables y pegajosos para soportar el impacto de las presas y mantenerlas sujetas. Tomado de Opell, 1999 y Cussó et al., 2004.

También las telas orbiculares son estructuras altamente regulares, más o menos circulares y planas (Opell, 1999; Cussó et al., 2004), en las cuales la componente espiral de la tela absorbe la energía cinética producida por el impacto de la presa y la radial es el andamiaje de la espiral. Existen investigaciones sobre esta clase de arañas que sugieren que el tamaño de la tela podría estar relacionado con la adhesividad de sus hilos componentes. Esto es, a medida que la superficie de la tela se reduce, la adhesividad de sus hilos aumenta. Así, la arquitectura de las telas parecería ser el factor que mejor se relaciona con el grado de adhesividad de las mismas (Opell, 1994).

Además de las características mencionadas, las tejedoras orbiculares son también atractivas para los científicos, ya que pueden ser fácilmente colectadas y mantenidas en condiciones de laboratorio, proporcionando una gran cantidad de muestras y experimentos a gran escala (Zschokke y Herberstein, 2005).

Cabe destacar que muchos de estos trabajos de investigación no son usados frecuentemente como herramientas para ayudar a desarrollar el conocimiento de los estudiantes en las Ciencias Básicas (Matemática, Física y Química), y que sólo son usados en actividades curriculares de los años académicos avanzados y específicos. En décadas recientes, el campo de la investigación educacional ha desarrollado un importante número de trabajos abocados a la enseñanza de las Ciencias Básicas y Naturales. Varios de estos estudios describen actividades pedagógicas y nuevas técnicas para optimizar el aprendizaje de la Física (Benito *et al*, 2006) en diversas disciplinas científicas, como lo es la Biología. La Física, dentro de un contexto biológico, crea un enorme potencial que permitiría generar habilidades para mejorar el aprendizaje de conceptos científicos (de la Vega *et al.*, 2007). Recientemente, la problemática del aprendizaje de las ciencias ha generado una enorme deserción de alumnos, especialmente en los estudiantes de los cursos de Física correspondientes a los primeros años universitarios. Varios factores son asociados a esta problemática, entre los que se puede destacar, la deficiencia en la adquisición de habilidades básicas necesarias para lograr un desarrollo académico eficiente (Zalba *et al*, 2005; Puzzella *et al*, 2005).

Las nuevas corrientes de enseñanza-aprendizaje tienden a dejar un poco de lado los antiguos, rudimentarios e intangibles problemas que escasamente motivan a los alumnos, y a reemplazarlos



por ejercicios que integren los campos teórico-prácticos. Como ejemplo de este tipo de metodologías podemos mencionar el salto en largo utilizado como alternativa para la enseñanza del tiro parabólico (de la Vega *et al.*, 2007).

Mediciones relativamente simples para resolver problemas de elasticidad, como los propuestos en este trabajo, proporcionan a los alumnos herramientas prácticas que les permiten comprender y analizar conceptos claves de la física. De esta forma se logra un aumento en el interés por parte de los alumnos, que concluiría en un significativo incremento de sus conocimientos y un acercamiento temprano a situaciones problemáticas reales y actuales. Así, el problema del aprendizaje de las “ciencias duras” se vuelve tangible y aplicable a nuestro ambiente, fomentando la formación y el funcionamiento de grupos de trabajo constituidos por alumnos, docentes e investigadores (de la Vega *et al.*, 2007).

### 3.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es proporcionar una herramienta alternativa, simple y económica para promover el aprendizaje de la temática “Propiedades mecánicas de los sólidos” en los cursos de Física General y Biológica.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

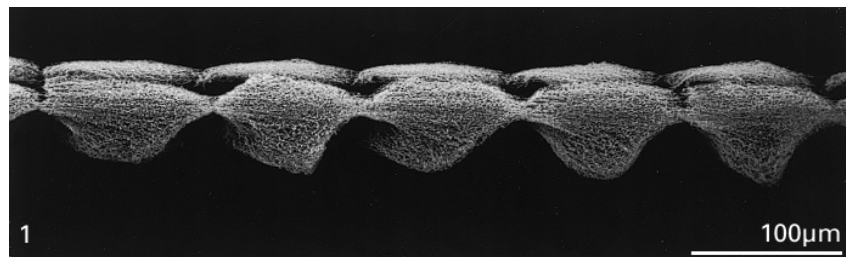
- Medir el esfuerzo ( $\sigma = F/S$ ) máximo que soportan las telas de arañas orbiculares.
- Calcular la deformación específica producida por ese esfuerzo ( $\epsilon = \Delta l/l_0$ ) en cada tela.

- Estimar el Módulo de Elasticidad (E) de telas en su ambiente natural.
- Observar si existe relación entre el tamaño de la araña y su tela.
- Aplicar los resultados sobre la elasticidad de las telas en clases teórico-prácticas con alumnos de Física (UNSJ).

## **4. Metodología**

### **4.1. Breve descripción del material a estudiar**

Numerosos investigadores han dirigido sus esfuerzos a dilucidar las características y funciones de telas compuestas por hebras cribelares. La superficie externa de estas hebras consiste en miles de pequeñas proteínas enrolladas (Fig. 2), las cuales son secretadas por una glándula abdominal llamada Cribellum. Dicha glándula está localizada en la superficie ventral del abdomen, y anterior a las hileras (Opell 1994; 2001; Opell y Bond 2000; Hickman *et al.*, 2006). Esta familia de arañas (*Uloboridae*) cribeladas generalmente producen telas orbiculares y no poseen glándulas productoras de veneno, lo que es una gran ventaja a la hora de la manipulación, extracción de telas (Opell 1983 y Masumoto 1998) y el trabajo con alumnos.



**Fig. 2.** Micrografía de escaneo electrónico de una hebra cribelar de captura de *Waitkera waitakerensis* (Uloboridae). Tomado de Opell y Bond (2000).

#### 4.2. Procedimientos puntuales

Se tomarán medidas de 25 telas de araña orbiculares en diferentes localidades de la Provincia de San Juan. Se recomienda fuertemente que las arañas sean manipuladas por un profesional, y que este asista a las prácticas de medición.

Las propiedades mecánicas de los sólidos se describen siempre en función del esfuerzo y la deformación, más que de la tensión ( $F$ ) y variación de la longitud, ya que la relación entre el esfuerzo y la deformación es independiente del tamaño del objeto (Cromer 2001). Cada tipo de medición se describe a continuación.

##### 4.2.1. Medición del esfuerzo máximo que soportan las telas.

Definición: El esfuerzo es la razón de la tensión al área de la sección transversal (Ec. 1). A través de un microscopio electrónico, se medirá el área de sección transversal de los hilos espirales y radiales. Se elaborarán treinta pesas de plástico de 1 a 30 gr., que se usarán a lo largo de todo el experimento. Estas pesas se colocarán

cuidadosamente sobre el centro de la tela hasta alcanzar el punto de quiebre. Dicho punto se tomará como medida del esfuerzo máximo.

$$\sigma = F/S \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (\text{Ec. 1})$$

#### **4.2.2. Cálculo de la deformación producida por el esfuerzo en cada tela.**

Definición: La deformación es la razón de la variación de longitud a la longitud original (ec.2), con las pesas colocadas sobre la tela se medirá la longitud inicial y la longitud normal (perpendicular) final producida por los pesos adheridos.

$$\varepsilon = \Delta l/l_0 \quad (\text{Ec. 2})$$

#### **4.2.3. Estimación de la elasticidad (E) de las telas en su ambiente natural.**

Ya que el modulo de Elasticidad E es una propiedad característica de cada material, este valor se estimara a partir de las mediciones anteriores mediante la ecuación 3, que relaciona  $\sigma$  y  $\varepsilon$  con E.

$$\varepsilon = \sigma/E \quad (\text{Ec. 3})$$

#### **4.2.4. Relación entre el tamaño de la araña y su tela.**

Para estimar el tamaño de la tela se medirá su largo y ancho máximo y se calculará su superficie. Esta medición será realizada previa a las pruebas de esfuerzo y deformación, ya que éstas alterarán

indefectiblemente la estructura original de la tela luego de ser efectuadas. Posteriormente, la araña será capturada, pesada en una balanza de precisión (0,001 g) y medida con ayuda de una lupa y plantilla *ad-hoc*. Cada espécimen será liberado nuevamente a su sitio de extracción.

#### **4.2.5. Aplicación de los resultados sobre la elasticidad de las telas en clases teórico-prácticas con alumnos de Física (UNSJ).**

- a.- se realizarán experiencias con alumnos y docentes de diversas cátedras de física de la UNSJ
- b.- se dictarán clases teóricas sobre elasticidad y técnicas de recolección de muestras
- c.- se recogerán telas y se realizarán mediciones de elasticidad sobre las mismas
- d.- se solicitará uno o más informes grupales de las experiencias, que serán defendidos de manera oral.

#### **4.2.6. Análisis Estadístico**

Con los datos obtenidos se realizarán correlaciones entre las diferentes variables, por ejemplo, gráficos y curvas de:

- a.- deformación-carga
- b.- esfuerzo-carga
- c.- deformación-tamaño tela

- d.- esfuerzo-tamaño tela
- e.- deformación-esfuerzo
- f.- tamaño araña-tamaño tela
- g.- valores medios de tamaño tela
- h.- valores medios de carga soportada etc.

#### **4.2.7. Herramientas de análisis**

Se usarán dos programas estadísticos: INFOSTAT y SPSS.

### **5. Resultados esperados**

Se espera obtener valores reales, basados en experiencias empíricas y análisis estadístico, de las propiedades elásticas de la tela de arañas orbiculares. Se pretende, además, con esta propuesta práctica contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje de la física por medio de una estrategia metodológica alternativa, económica y relativamente simple de aplicar.

## 6. Referencias

- Becker, N.; Oroudjev, E.; Mutz, S.; Cleveland, J.; Hansma, P.; Hayashi, C.; Makarov, D. y Hansma, H. (2003). Molecular nanosprings in spider capture-silk threads. **Nature Materials**, 2 (278-283).
- Benito, A.; Portela, A. y Rodríguez, M. R. (2006). Análisis de la enseñanza de la Física en Europa: el fomento de competencias generales en estudiantes universitarios. Universidad Europea de Madrid. España. **Revista Iberoamericana de Educación**, 38, 7.
- Carey, F. A. (2006). **Química orgánica**. Ed. McGraw Hill Interamericana. México.
- Cromer, A. H. (2001). **Física para las ciencias de la vida**. Ed. Reverté, S.A. Barcelona, España.
- Cussó, F.; López, C. y Villar, R. (2004). **Física de los procesos biológicos**. Ed. Ariel, S.A. Barcelona, España.
- Dawson, I. (2001). Finding *Uloborus plumipes*. **British Arachnological Society. Spider recording scheme. Newsletter**, 40, 2-3.
- de la Vega, G. J.; Aguilera, J. A.; Puzzella, A. E. y Mallamaci, C.C. (2007). An alternative strategy to teach Biomechanics: The long jump. **Journal of Physics: Conference Series** 90.
- Hickman, C. P.; Roberts, L. S.; Larson, A.; Anson, H. y Eisenhour, D. J. (2006). **Principios integrales de zoología**. Ed. McGraw Hill Interamericana. Barcelona, España.
- Landau, L. D. y Lifshitz, E. M. (1969). **Teoría de la elasticidad**. Ed. Reverté S.A. Barcelona, España.
- Masumoto, T. (1998). Cooperative prey capture in the communal web spider, *Philoponella raffrayi* (Araneae, Uloboridae). **The Journal of Arachnology**, 26:392-396.
- McConney, M. E.; Schaber, C. F.; Julian, M. D.; Barth, F. G. y Tsukruk, V. V. (2007). Viscoelastic nanoscale properties of cuticle contribute to the high-pass properties of spider vibration receptor (*Cupiennius salei* Keys). **Journal of the Royal Society, Interface**. 4, 1135-1143.
- Montenegro, R. (2003). La asombrosa tela de araña. **Ciencia de los Orígenes**. 66:1-5.

- Opell, B. D. (1983). Checklist of American Uloboridae. (Arachnida: Araneae). **The Great Lakes Entom.**, 16 (2), 61-66.
- Opell, B. D. (1994). Increased stickiness of prey capture threads accompanying web reduction in the spider family Uloboridae. **Functional Ecology**, 8, 85-90.
- Opell, B. D. (1997). The material cost and stickiness of capture threads and the evolution of orb-weaving spiders. **Biological Journal of the Linnean Society**, 62:443-458.
- Opell, B. D. (1999). Changes in spinning anatomy and thread stickiness associated with the origin of orb-weaving spiders. **Biological Journal of the Linnean Society**, 68:593-612.
- Opell, B. D. y Bond, J. E. (2000). Capture thread extensibility of orb-weaving spiders: testing punctuated and associative explanations of character evolution. **Biological Journal of the Linnean Society**, 70: 107-120.
- Opell, B. D. (2001). Cribellum and calamistrum ontogeny in the Spider family uloboridae: linking functionally related but separate silk spinning features. **The Journal of Arachnology**, 29:220-226.
- Puzzella, A.; Lopez, N. y Alborch, A. (2005). Las actitudes de los alumnos universitarios. Una indagación exploratoria. **XIV Reunión Nacional de Educación en la Física (REF XIV), Río Negro Argentina.**
- Solomon, E. P.; Berg, L. R. y Martin, D. W. (2008). **Biología**. Octava edición. Ed. McGraw Hill Interamericana. Barcelona, España.
- Stauffer, S. L.; Coguill, S. L. y Lewis, R. V. (1994). Comparison of physical properties of three silks form Nephila clavipes and Araneus gemmoides. **The Journal of Arachnology**, 22: 5-11.
- Zalba, E. et al. (2005). Competencias para el Ingreso y Permanencia en la universidad: Una propuesta para la Articulación Curricular entre el Nivel Superior y el Nivel Medio de enseñanza. **Proceedings del seminario "Currículo Universitario basado en Competencias"**. Universidad del Norte Barranquilla Colombia.
- Zschokke, S. y Herberstein, M. (2005). Laboratory methods for maintaining and studying web-building spiders. **The Journal of Arachnology**, 33:205-213.